

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2004-114288

(43)Date of publication of application : 15.04.2004

(51)Int.Cl.

B25J 5/00

(21)Application number : 2003-327727

(71)Applicant : HONDA MOTOR CO LTD

(22)Date of filing : 19.09.2003

(72)Inventor : KAWAI MASAKAZU  
IKEUCHI YASUSHI  
DARIUSH BEHZAD

(30)Priority

Priority number : 2002 413024

Priority date : 23.09.2002

Priority country : US

2002 421964

28.10.2002

2003 642477

15.08.2003

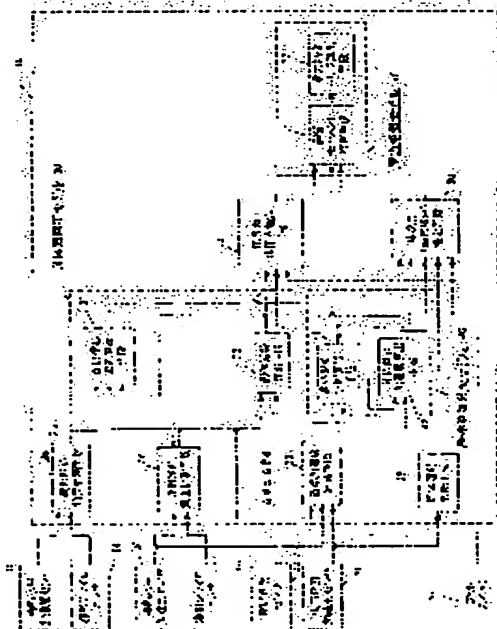
US

US

**(54) METHOD FOR DETERMINING TORQUE TO BE IMPARTED TO JOINT PART OF LEG BODY AND ARITHMETIC PROCESSING UNIT****(57)Abstract:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To provide a method for determining torque to be imparted to a joint of a leg body of a bipedal walking body and an arithmetic processing unit.

**SOLUTION:** This method includes a step for determining moment acting on the joint part of the leg body by using a vertical direction component of a floor reaction force acting on the leg body at an acting point of the floor reaction force the vertical direction component of force acting on the joint part of the leg body and a gravitational acceleration term without using a horizontal direction component of force acting on the joint part of the leg body and an acceleration term except the gravitational acceleration term and a step for determining torque in the joint of the leg body based on the moment acting on the joint part of the leg body. The vertical direction component of the floor reaction force acting on the leg body is determined based on a grounding state of the leg body, an attitude of the leg body and the vertical direction component of gravitational acceleration of the whole body including the leg body. The arithmetic processing unit is constituted to execute the above steps.

**LEGAL STATUS**

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the  
examiner's decision of rejection or application  
converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 公開特許公報(A)

(11) 特許出願公開番号

特開2004-114288

(P2004-114288A)

(43) 公開日 平成16年4月15日(2004.4.15)

(51) Int.Cl.<sup>7</sup>  
B25J 5/00F1  
B25J 5/00F  
テーマコード(参考)  
3C007

審査請求 未請求 請求項の数 12 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2003-327727(P2003-327727)  
 (22) 出願日 平成15年9月19日(2003.9.19)  
 (31) 優先権主張番号 60/413,024  
 (32) 優先日 平成14年9月23日(2002.9.23)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 60/421,964  
 (32) 優先日 平成14年10月28日(2002.10.28)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)  
 (31) 優先権主張番号 10/642,477  
 (32) 優先日 平成15年8月15日(2003.8.15)  
 (33) 優先権主張国 米国(US)

(71) 出願人 000005326  
 本田技研工業株式会社  
 東京都港区南青山二丁目1番1号  
 (74) 代理人 100081721  
 弁理士 岡田 次生  
 (74) 代理人 100105393  
 弁理士 伏見 直哉  
 (74) 代理人 100111969  
 弁理士 平野 ゆかり  
 (72) 発明者 河合 雅和  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
 社本田技術研究所内  
 (72) 発明者 池内 康  
 埼玉県和光市中央1丁目4番1号 株式会  
 社本田技術研究所内

最終頁に続く

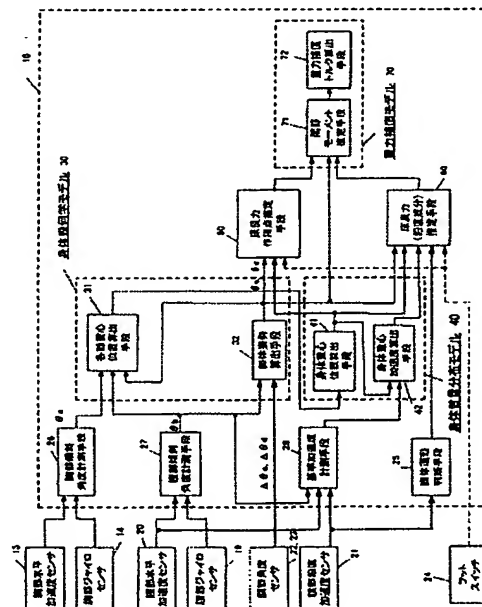
(54) 【発明の名称】 脚体の関節部分に与えるトルクを求める方法および演算処理装置

## (57) 【要約】

【課題】二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める方法および演算処理装置を提供する。

【解決手段】当該方法は、床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップと、脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求めるステップとを含む。脚体に作用する床反力の鉛直方向成分は、脚体の接地状態、脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて求められる。演算処理装置は上記のステップを実行するように構成される。

【選択図】図3



**【特許請求の範囲】****【請求項 1】**

二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める方法であって、  
脚体の接地状態を判断するステップと、  
脚体の姿勢を求めるステップと、  
脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求めるステップと、  
脚体の接地状態、脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップと、  
床反力の作用点を求めるステップと、

床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップと、  
脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求めるステップとを含む方法。 10

**【請求項 2】**

脚体の接地状態を判断するステップにおいて、体において計測された加速度の鉛直方向成分の値に基づいて脚体の接地状態を判断する請求項 1 に記載の方法。

**【請求項 3】**

脚体の接地状態を判断するステップにおいて、センサにより脚体の接地状態を判断する請求項 1 に記載の方法。 20

**【請求項 4】**

床反力の作用点を求めるステップにおいて、脚体の姿勢および体の重心位置に基づいて床反力の作用点を求める請求項 1 から 3 のいずれか 1 項に記載の方法。

**【請求項 5】**

床反力の作用点を求めるステップにおいて、さらにセンサからの情報を使用する請求項 4 に記載の方法。

**【請求項 6】**

脚体の姿勢および体の他部分の姿勢に基づいて求めた体各部の重心位置および体において計測された加速度の鉛直方向成分の値に基づいて体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める請求項 1 から 5 のいずれか 1 項に記載の方法。 30

**【請求項 7】**

脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップにおいて、最初に床反力の作用点において下腿部に作用する床反力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、床反力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに下腿部の膝関節部分に作用する力の鉛直方向成分およびモーメントを求め、つぎに大腿部の膝関節部分において作用する力の鉛直方向成分およびモーメントおよび重力加速度項を使用して、大腿部の膝関節部分において作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに大腿部の股関節部分に作用する力の鉛直方向成分およびモーメントを求める請求項 1 から 6 のいずれか 1 項に記載の方法。 40

**【請求項 8】**

二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める方法であって、  
脚体の接地状態を判断するステップと、  
脚体の姿勢を求めるステップと、  
脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求めるステップと、  
脚体の接地状態、脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分および脚体の姿勢に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップと、  
床反力の作用点を求めるステップと、  
床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水 50

平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップとを含む方法。

【請求項 9】

二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める演算処理装置であって、関節の角度センサおよび二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能であり、

少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、

角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段と、

脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、

10

少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段と、

床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段と、

20

脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求める手段とを含む演算処理装置。

【請求項 10】

二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める演算処理装置であって、関節の角度センサ、二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサおよび脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能であり、

脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、

角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段と、

30

脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、

少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段と、

床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段と、

40

脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求める手段とを含む演算処理装置。

【請求項 11】

二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める演算処理装置であって、関節の角度センサおよび二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能であり、

少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、

50

角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段と、  
脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、  
少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段と、

床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段とを含む演算処理装置。 10

#### 【請求項 12】

二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める演算処理装置であって、関節の角度センサ、二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサおよび脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能であり、

脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、

角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段と、 20

脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、

体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段と、

脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段と、

床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段とを含む演算処理装置。 30

#### 【発明の詳細な説明】

#### 【技術分野】

#### 【0001】

本発明は、人間や二足歩行ロボット等の二足歩行移動体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める方法および演算処理装置に関する。さらに、当該モーメントに基づいて脚体の関節部分に与えるトルクを求める方法および演算処理装置に関する。

#### 【背景技術】

#### 【0002】

例えば、人間の階段昇降動作、座位・立位運動、スクワット動作、重い荷物を持つての上下運動、重力に対する動作を補助する動作アシスト装置の動作制御や、二足歩行ロボットの移動動作の制御において、二足歩行移動体の脚体に作用する床反力を求め、床反力に基づいて二足歩行移動体の脚体の関節に作用するモーメントを把握することが必要となる。把握されたモーメント等に基づいて動作アシスト装置のアシストトルクや、二足歩行ロボットの各関節の目標駆動トルク等を決定することが可能となる。

#### 【0003】

前記床反力を把握する手法としては、例えば特許文献1に開示されているものが知られている。この技術では、二足歩行移動体の定常的な歩行時に各脚体の床反力の経時変化の波形が周期的に変化することから、各脚体の床反力を、歩行周期の  $1/n$  ( $n=1, 2,$  50

・・・)の互いに異なる周期を有する複数の三角関数の合成値(一次結合)として把握するものである。この場合、複数の三角関数を合成する際の各三角関数の重み係数は、二足歩行移動体毎にあらかじめ定めた所定値やそれを地形に応じて調整した値が用いられている。

#### 【0004】

しかしながら、かかる技術では、二足歩行移動体の一步分もしくは複数歩分について脚体の床反力を把握しようとするものであるため、二足歩行移動体の歩容が逐次変化するような場合には、床反力を精度よく把握することは困難である。また、把握される床反力の精度を高めるためには、前記三角関数の重み係数を二足歩行移動体毎に設定したり、地形等に応じて調整したりしなければならないので、二足歩行移動体の移動環境や二足歩行移動体の個体差の影響を少なくして、床反力を精度よく把握するようにすることが困難である。

#### 【0005】

また、特許文献2は、働いている人間の負荷を測定する装置・方法を開示している。しかし、この装置・方法によっては関節に作用するトルクを正確に測定することはできない。

#### 【0006】

また、例えば二足歩行ロボットにおいては、各脚体の足首部や足平部に6軸力センサ等の力センサを取付け、この力センサの出力により床反力を把握するものも知られている。さらに、床に設置したフォースプレート上で二足歩行移動体を歩行させ、該フォース・プレートの出力により床反力を把握する手法も知られている。

#### 【0007】

しかしながら、力センサを用いる技術では、特に人間の脚体の床反力を把握しようとする場合には、人間の足首部や足平部に力センサを取付けなければならないため、通常的な生活環境下では、該力センサが歩行の邪魔になってしまうという不都合がある。また、フォースプレートを用いるものでは、該フォースプレートが設置された環境下でしか床反力を把握できない。

#### 【0008】

また、従来の動作アシスト装置において脚体の関節部分におけるモーメントを求める際に加速度項を求めるのに微分を使用するため、脚体の関節部分におけるモーメントのノイズの原因となっていた。さらに、脚体の関節部分におけるモーメントを求める際に水平方向の力の成分を使用しているが、水平方向の力、すなわち加速度の計測は困難であり、脚体の関節部分におけるモーメントの誤差の原因となっていた。また、多数の加速度項を求めるための微分演算が大量になると演算時間が長くなりリアルタイム処理の制約となるおそれがあった。

【特許文献1】特開 2000-249570 号公報

【特許文献2】米国特許第6152890号

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

#### 【0009】

本発明はかかる背景に鑑みてなされたものであり、比較的簡単な手法で脚体の関節部分におけるモーメントを精度よくリアルタイムで把握することができ、特に二足歩行移動体としての人間の脚体の関節部分に作用するモーメントを把握する好適な関節モーメント推定方法を提供することを目的とする。

#### 【0010】

さらに、脚体の関節部分に作用するモーメントの推定値を用いて、動作アシスト装置などにおいて脚体の関節部分に与えるアシストトルクなどのトルクを求めることができる、リアルタイム性およびロバスト性の高い二足歩行移動体の制御方法を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

10

20

30

40

50

## 【0011】

まず、本発明の二足歩行移動体の関節モーメント推定方法における床反力推定方法の基本的な考え方を説明する。

## 【0012】

二足歩行移動体の脚体の運動状態、例えば歩行動作時の脚体の運動状態は、図1(a)に例示するように二足歩行移動体1の両脚体2、2のうちの一方の脚体2(図では進行方向で前側の脚体)のみが接地する単脚支持状態と、図1(b)に示すように両脚体2、2が接地する両脚支持状態とがある。

## 【0013】

ここで、まず、前記単脚支持状態において、二足歩行移動体が運動を行う地面に対して 10  
 固定的な絶対座標系における該二足歩行移動体の重心の運動方程式(詳しくは重心の並進運動に関する運動方程式)は、該重心の加速度と二足歩行移動体の重量との積が、該重心に作用する重力(=二足歩行移動体の重量×重力加速度)と、接地している脚体の接地部に床から作用する床反力との合力に等しいという関係式になる。具体的には、例えば図1(a)に示すように、床Aに対して固定した絶対座標系Cfにおいて、二足歩行移動体1の重心G0の加速度aのX軸方向(二足歩行移動体1の進行方向での水平方向)、Z軸方向(鉛直方向)の成分をそれぞれax、az、接地している脚体2(支持脚側の脚体2)に係る床反力FのX軸方向、Z軸方向の成分をそれぞれFx、Fzとおくと、重心G0の運動方程式は、次式(1)により表される。

$${}^T(F_x, F_z - M \cdot g) = M \cdot {}^T(a_x, a_z) \quad \dots (1)$$

20

(但し、M:二足歩行移動体の重量、g:重力加速度)

## 【0014】

尚、式(1)中の両辺の括弧部分 ${}^T(, )$ は2成分のベクトルを意味している。本明細書では ${}^T(, )$ という形の表記は、ベクトルを表す。

## 【0015】

従って、二足歩行移動体1の重心G0における加速度の鉛直方向成分azを把握すれば、その加速度の鉛直方向成分azと、二足歩行移動体1の重量Mの値と、重力加速度gの値とを用いて、次式(2)により、床反力の鉛直方向成分Fzの推定値を得ることができる。

$$F_z = M \cdot (a_z + g) \quad \dots (2)$$

30

## 【0016】

この場合、床反力Fの推定値を得るために必要な重量Mは、あらかじめ計測等により把握することができる。また、重心G0の位置や、加速度の鉛直方向成分azについては、詳細は後述するが、二足歩行移動体1の各関節の屈曲角度(回転角度)を検出するセンサや、加速度センサ、ジャイロセンサ等のセンサの出力を用いて公知の手法等により逐次把握することが可能である。

## 【0017】

次に、前記両脚接地状態における二足歩行移動体の重心の運動方程式(詳しくは重心の並進運動に関する運動方程式)は、該重心の加速度と二足歩行移動体の重量との積が、該重心に作用する重力(=二足歩行移動体の重量×重力加速度)と、両脚体のそれぞれの接 40  
 地部に床から作用する床反力(両脚体にそれぞれ対応する二つの床反力)との合力に等しいという関係式になる。具体的には、図1(b)に示すように二足歩行移動体1の進行方向に向かって前側の脚体2に係る床反力FfのXZ座標成分をFfx、Ffz、後側の脚体2に係る床反力FrのXZ座標成分をFrx、Frzとおくと、重心G0の運動方程式は、次式(3)により表される。

$${}^T(F_{fx} + F_{rx}, F_{fz} + F_{rz} - M \cdot g) = M \cdot {}^T(a_x, a_z) \quad \dots (3)$$

## 【0018】

尚、式(3)中のax、az、M、gの意味は前述のとおりである。

## 【0019】

50



一方、本願発明者との知見によれば、両脚支持状態において、各脚体2, 2にそれぞれ係る床反力 $F_f$ ,  $F_r$ は、概ね、図1(b)に示すように各脚体2, 2の下端部近傍の特定部位12f, 12r(例えば足首部)から二足歩行移動体1の重心 $G_0$ に向かって作用するとみなすことができる。そして、このとき、前記重心 $G_0$ に対する各脚体2, 2の前記特定部位12f, 12rの位置と、各脚体2, 2に作用する床反力 $F_f$ ,  $F_r$ との間には一定の関係式、すなわち、前記重心 $G_0$ と各脚体2, 2の特定部位12f, 12rとを結ぶ線分の向き(該重心 $G_0$ に対する該特定部位12f, 12rの位置ベクトルの向き)が該脚体2, 2に係る床反力 $F_f$ ,  $F_r$ の向きに等しいという関係を表す関係式が成立する。

#### 【0020】

具体的には、図1(b)を参照して、前記絶対座標系 $C_f$ における重心 $G_0$ の位置の座標を( $X_g$ ,  $Z_g$ )、前側脚体2の特定部位12fの位置の座標を( $X_f$ ,  $Z_f$ )、後側脚体2の特定部位12rの位置の座標を( $X_r$ ,  $Z_r$ )とおくと、上記の関係式は次式(4)となる。

$$\begin{aligned} (Z_f - Z_g) / (X_f - X_g) &= F_{fz} / F_{fx} \\ (Z_r - Z_g) / (X_r - X_g) &= F_{rz} / F_{rx} \\ &\dots (4) \end{aligned}$$

そして、この式(4)と前記式(3)とを考慮し、さらに水平方向の加速度項 $a_x$ の寄与が小さいとして無視すると、床反力の鉛直方向成分に関して次式(5)が得られる。

#### 【0021】

$$\begin{aligned} F_{fz} &= M \cdot \{ \Delta Z_f \cdot (-\Delta X_r \cdot a_z - \Delta X_r \cdot g) \} \\ &\quad / (\Delta X_f \cdot \Delta Z_r - \Delta X_r \cdot \Delta Z_f) \\ F_{rz} &= M \cdot \{ \Delta Z_r \cdot (\Delta X_f \cdot a_z + \Delta X_f \cdot g) \} \\ &\quad / (\Delta X_f \cdot \Delta Z_r - \Delta X_r \cdot \Delta Z_f) \\ &\dots (5) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (\text{但し、} \Delta Z_f &= X_f - X_g, \Delta Z_f = Z_f - Z_g, \\ \Delta X_r &= X_r - X_g, \Delta Z_r = Z_r - Z_g) \end{aligned}$$

#### 【0022】

従って、二足歩行移動体1の重心 $G_0$ の加速度の鉛直方向成分 $a_z$ を把握すると共に、二足歩行移動体1の重心 $G_0$ に対する各脚体2, 2のそれぞれの特定部位12f, 12rの位置(これは式(5)では $\Delta X_f$ ,  $\Delta Z_f$ ,  $\Delta X_r$ ,  $\Delta Z_r$ により表される)を把握すれば、その加速度の鉛直方向成分 $a_z$ 及び特定部位12f, 12rの位置と、二足歩行移動体1の重量 $M$ の値と、重力加速度 $g$ の値とを用いて、前記式(5)により、各脚体2毎の床反力の鉛直方向成分 $F_{fz}$ ,  $F_{rz}$ の推定値を得ることができることとなる。

#### 【0023】

この場合、床反力の鉛直方向成分 $F_{fz}$ ,  $F_{rz}$ の推定値を得るために必要な重量 $M$ は、あらかじめ計測等により把握することができる。また、重心 $G_0$ 加速度の鉛直方向成分 $a_z$ や重心 $G_0$ の位置、該重心 $G_0$ に対する前記特定部位12f, 12rの位置については、詳細は後述するが、二足歩行移動体1の各関節の屈曲角度(回転角度)を検出するセンサや、加速度センサ、ジャイロセンサ等のセンサの出力を用いて、公知の手法等により逐次把握することが可能である。

#### 【0024】

重力加速度項以外の加速度項および水平方向の力の項を、寄与が小さいものとして無視すると、上記のように求めた床反力の鉛直方向成分、脚体の姿勢などから求めた床反力の作用点、および重力加速度項に基づいて脚体の膝関節部分に作用する鉛直方向の力およびモーメントを求めることが可能である。さらに、脚体の膝関節部分に作用する鉛直方向の力およびモーメントおよび重力加速度項に基づいて、脚体の股関節部分に作用する鉛直方向の力およびモーメントを求めることが可能である。また、脚体の膝関節部分および脚体の股関節部分に作用するモーメントに基づいて、動作アシスト装置などにおいて脚体の膝関節部分および脚体の股関節部分に与えるアシストトルクなどのトルクを求めることが可

10

20

30

40

50

能である。このようにして、人間の動作を補助する動作アシスト装置などの動作制御が可能となる。

#### 【0025】

上記の説明を基礎として本発明を次に説明する。本発明の、二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める方法は、脚体の接地状態を判断するステップと、脚体の姿勢を求めるステップと、脚体を含む身体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップとを含む。さらに、脚体の接地状態、脚体の姿勢および脚体を含む身体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップと、床反力の作用点を求めるステップとを含む。さらに、床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップと、脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求めるステップとを含む。

10

#### 【0026】

このように、本発明においては、脚体に作用する力の鉛直方向成分のみを利用し、力の水平方向成分を利用しないので、水平方向の力、すなわち水平方向加速度の計測誤差に起因する関節モーメントの誤差を生じることがない。また、重力加速度以外の脚体各部の加速度を求める必要が無いので演算速度が高くなり、人間の動作を補助する動作アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

20

#### 【0027】

本発明の一実施形態においては、脚体の接地状態を判断するステップにおいて、身体において計測された加速度の鉛直方向成分の値に基づいて脚体の接地状態を判断する。したがって、複雑な判断処理を行う必要が無いので演算速度が高くなり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

#### 【0028】

本発明の一実施形態においては、脚体の接地状態を判断するステップにおいて、センサにより脚体の接地状態を判断する。したがって、判断処理のための演算処理が不要となり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。また、簡単なセンサにより確実に判断を行うことができる。

30

#### 【0029】

本発明の一実施形態においては、床反力の作用点を求めるステップにおいて、脚体の姿勢および身体重心位置に基づいて床反力の作用点を求める。したがって、簡易な方法によりロバスト性を高めることができる。

#### 【0030】

本発明の一実施形態においては、床反力の作用点を求めるステップにおいて、さらにセンサからの情報を使用する。したがって、センサからの情報に基づいて確実に床反力の作用点を求めることができる。

#### 【0031】

本発明の一実施形態においては、脚体の姿勢および身体他部分の姿勢に基づいて求めた身体各部の重心位置および身体において計測された加速度の鉛直方向成分の値に基づいて身体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める。特に、階段または坂道の昇降、座位から立位または立位から座位への動作、重量物を持ちながらの屈伸動作などの動作においては、加速度の鉛直方向成分が大きく確実に計測することができる。したがって、身体全体の重心加速度の鉛直方向成分を確実に求めることができる。

40

#### 【0032】

本発明の一実施形態においては、脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップにおいて、最初に床反力の作用点において下腿部に作用する床反力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、床反力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに下腿部の膝関節部分に作用する力の鉛直方向成分およびモーメントを求める。

50

つぎに大腿部の膝関節部分において作用する力の鉛直方向成分およびモーメントおよび重力加速度項を使用して、大腿部の膝関節部分において作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに大腿部の股関節部分に作用する力の鉛直方向成分およびモーメントを求める。

【0033】

したがって、床反力の作用点において脚体に作用する床反力および重力加速度項のみを考慮して、下腿部の膝関節部分に作用するモーメントおよび大腿部の股関節部分に作用するモーメントを確実に求めることができる。

【0034】

本発明の、二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める方法は、脚体の接地状態を判断するステップと、脚体の姿勢を求めるステップと、脚体を含む身体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップとを含む。さらに、脚体の接地状態、脚体の姿勢および脚体を含む身体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求めるステップと、床反力の作用点を求めるステップとを含む。さらに、床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求めるステップを含む。

【0035】

このように、本発明においては、脚体に作用する力の鉛直方向成分のみを利用し、力の水平方向成分を利用しないので、水平方向の力、すなわち水平方向加速度の計測誤差に起因する関節モーメントの誤差を生じることがない。また、重力加速度以外の脚体各部の加速度を求める必要が無いので演算速度が高くなり、二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める際のリアルタイム性が向上する。

【0036】

本発明による二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める演算処理装置は、関節の角度センサおよび二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能である。演算処理装置は以下の手段を含む。体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段とが含まれる。脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段とがさらに含まれる。脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段がさらに含まれる。脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段がさらに含まれる。床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段がさらに含まれる。脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求める手段がさらに含まれる。

【0037】

本発明による二足歩行体の脚体の関節に与えるトルクを求める演算処理装置は、関節の角度センサ、二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサおよび脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能である。演算処理装置は以下の手段を含む。脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段とが含まれる。脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段とがさらに含まれる。脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直

方向成分を求める手段がさらに含まれる。脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段がさらに含まれる。床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段がさらに含まれる。脚体の関節部分に作用するモーメントに基づいて、脚体の関節におけるトルクを求める手段がさらに含まれる。

#### 【0038】

このように、本発明においては、脚体に作用する力の鉛直方向成分のみを利用し、力の水平方向成分を利用しないので、水平方向の力、すなわち水平方向加速度の計測誤差に起因する関節モーメントの誤差を生じることがない。また、重力加速度以外の脚体各部の加速度を求める必要が無いので演算速度が高くなり、人間の動作を補助する動作アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

#### 【0039】

さらに、少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する発明においては、複雑な判断処理を行う必要が無いので演算速度が高くなり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

#### 【0040】

脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する発明においては、判断処理のための演算処理が不要となり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。また、簡単なセンサにより確実に判断を行うことができる。

#### 【0041】

本発明による二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める演算処理装置は、関節の角度センサおよび二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能である。演算処理装置は以下の手段を含む。少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段とが含まれる。脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段とがさらに含まれる。脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段がさらに含まれる。脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段がさらに含まれる。床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段がさらに含まれる。

#### 【0042】

本発明による二足歩行体の脚体の関節部分に作用するモーメントを求める演算処理装置は、関節の角度センサ、二足歩行体の体に取り付けられた少なくとも一つの体に取り付けられたセンサおよび脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサと関連して動作可能である。演算処理装置は以下の手段を含む。脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する手段と、角度センサからの情報を使用して脚体の姿勢を求める手段とが含まれる。脚体を含む体全体の重心の位置を求める手段と、少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分を求める手段とがさらに含まれる。脚体の接地状態、脚体の姿勢、脚体を含む体全体の重心の位置および脚体を含む体全体の重心加速度の鉛直方向成分に基づいて脚体に作用する床反力の鉛直方向成分を求める手段がさらに含まれる。脚体の姿勢および脚体を含む体全体の重心の位置を使用して床反力の作用点を求める手段がさらに含まれる

。床反力の作用点において脚体に作用する床反力の鉛直方向成分、脚体の関節部分に作用する力の鉛直方向成分および重力加速度項を使用して、脚体の関節部分に作用する力の水平方向成分および重力加速度項以外の加速度項を使用せずに脚体の関節部分に作用するモーメントを求める手段がさらに含まれる。

【0043】

このように、本発明においては、脚体に作用する力の鉛直方向成分のみを利用し、力の水平方向成分を利用しないので、水平方向の力、すなわち水平方向加速度の計測誤差に起因する関節モーメントの誤差を生じることがない。また、重力加速度以外の脚体各部の加速度を求める必要が無いので演算速度が高くなり、人間の動作を補助する動作アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

10

【0044】

さらに、少なくとも一つの体に取り付けられたセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する発明においては、複雑な判断処理を行う必要が無いので演算速度が高くなり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。

【0045】

脚体に取り付けられた少なくとも一つのセンサからの情報を使用して脚体の接地状態を判断する発明においては、判断処理のための演算処理が不要となり、人間の歩行動作を補助する歩行アシスト装置の動作制御などにおけるリアルタイム性が向上する。また、簡単なセンサにより確実に判断を行うことができる。

20

【発明を実施するための最良の形態】

【0046】

本発明の一実施形態を前記図1並びに図2乃至図5を参照して説明する。

【0047】

本実施形態は、二足歩行移動体としての人間に本発明の関節部分に与えるトルクを求める方法及び関節モーメントを推定する方法を適用した実施形態である。

【0048】

図2に模式化して示すように、人間1は、その構成を大別すると、左右一对の脚体2、2と、腰部3及び胸部4からなる胴体5と、頭部6と、左右一对の腕体7、7とを有する。胴体5は、その腰部3が脚体2、2のそれぞれに左右一对の股関節8、8を介して連結され、両脚体2、2上に支持されている。また、胴体5の胸部4は、腰部3の上側に該腰部3に対して人間1の前方側に傾斜可能に存している。そして、この胸部4の上部の左右両側部から腕体7、7が延設され、該胸部4の上端部に頭部6が支持されている。

30

【0049】

各脚体2、2は、股関節8から延在する大腿部9と、該大腿部9の先端から膝関節10を介して延在する下腿部11とを有し、下腿部11の先端部に、足首部（足首関節）12を介して足部13が連結されている。

【0050】

本実施形態では、このような構成を有する人間1の各脚体2に作用する床反力の推定、さらには膝関節10及び股関節8に作用するモーメントの推定を行うために、次のような装置を人間1に装備している。

40

【0051】

すなわち、胴体5の胸部4には、胸部4の傾斜に伴う角速度に応じた出力を発生するジャイロセンサ14（以下、胸部ジャイロセンサ14という）と、胸部4の水平方向の加速度に応じた出力を発生する加速度センサ15（以下、胸部水平加速度センサ15という）と、CPU、RAM、ROM等から構成される演算処理装置16と、該演算処理装置16等の電源となるバッテリー17とが装着されている。この場合、これらの胸部ジャイロセンサ14、胸部水平加速度センサ15、演算処理装置16及びバッテリー17は、例えば胸部4に図示しないベルト等を介して固定されるショルダーバッグ状の収容部材18に収容され、該収容部材18を介して胸部4に一体的に固定されている。

50

## 【0052】

尚、胸部加速度センサ15の出力が表す加速度は、より詳しくは、胸部4の水平断面方向（胸部4の軸心と直交する方向）での前後方向の加速度であり、人間1が平地に直立姿勢で起立した状態では、水平方向（図2の絶対座標系のX軸方向）での加速度であるが、胸部4が鉛直方向（図2の絶対座標系のZ軸方向）から傾斜した状態では、胸部4の鉛直方向に対する傾斜角度分だけ水平方向に対して傾斜した方向での加速度となる。

## 【0053】

また、胴体5の腰部3には、腰部3の傾斜に伴う加速度に応じた出力を発生するジャイロセンサ19（以下、腰部ジャイロセンサ19という）と、腰部3の水平方向の加速度に応じた出力を発生する加速度センサ20（以下、腰部水平加速度センサ20という）と、腰部3の鉛直方向の加速度に応じた出力を発生する加速度センサ21（以下、腰部鉛直加速度センサ21という）とが、図示しないベルト等の固定手段を介して一体的に装着・固定されている。

## 【0054】

ここで、腰部水平加速度センサ20は、より詳しくは胸部水平加速度センサ15と同様、腰部3の水平断面方向（腰部3の軸心と直交する方向）での前後方向の加速度を検出するセンサである。また、腰部鉛直加速度センサ21は、より詳しくは、腰部3の軸心方向での上下方向の加速度（これは腰部水平加速度センサ20が検出する加速度と直交する）を検出するセンサである。尚、腰部水平加速度センサ20及び腰部鉛直加速度センサ21は、二軸型の加速度センサにより一体的に構成されたものであってもよい。

## 【0055】

さらに各脚体2の股関節8と膝関節10とには、それぞれの屈曲角度 $\Delta\theta c$ 、 $\Delta\theta d$ に応じた出力を発生する股関節角度センサ22及び膝関節角度センサ23が装着されている。尚、股関節角度センサ22については、図2では手前側（人間1の前方に向かって右側）の脚体2の股関節8に係わる股関節角度センサ22のみが図示されているが、他方側（人間1の前方に向かって左側）の脚体2の股関節8には、手前側の股関節角度センサ22と同様に、股関節角度センサ22が装着されている。

## 【0056】

これらの角度センサ22、23は、例えばポテンショメータにより構成されたものであり、各脚体2に図示しないバンド部材等の手段を介して装着されている。ここで、各股関節角度センサ22が検出する屈曲角度 $\Delta\theta c$ は、より詳しくは、腰部3と各脚体2の大腿部9との姿勢関係が所定の姿勢関係（例えば人間1の直立姿勢状態のように腰部3の軸心と大腿部9の軸心とがほぼ平行となる姿勢関係）にあるときを基準とした、腰部3に対する各脚体2の大腿部9の股関節8回り（人間1の左右方向における股関節8の軸心回り）の回転角度である。同様に、各膝関節角度センサ23が検出する屈曲角度 $\Delta\theta d$ は、各脚体2の大腿部9と下腿部11との姿勢関係が所定の姿勢関係（例えば大腿部9の軸心と下腿部11の軸心とがほぼ平行となる姿勢関係）にあるときを基準とした、大腿部9に対する下腿部11の膝関節10回り（人間1の左右方向における膝関節10の軸心回り）の回転角度である。

## 【0057】

また、脚体の接地部分にフット・スイッチ24を備えるようにしてもよい。フット・スイッチは、脚体の接地状態を接触方式で検出するものである。

## 【0058】

あるいは、足関節や膝関節の位置に赤外線方式などによる図示しない距離センサを装着し、予め直立時の床面との距離を測定しておき、距離センサによる測定距離と予め測定した距離により脚体の接地状態を判定するようにすることもできる。

## 【0059】

尚、前記各センサ14、15、19乃至24あるいは図示しない距離センサは、それらの出力を演算処理装置16に入力すべく、図示を省略する信号線を介して演算処理装置16に接続されている。



## 【0060】

前記演算処理装置16は、図3に示すような機能的手段を備えている。すなわち、演算処理装置16は、腰部鉛直加速度センサ21の検出データと、所定の閾値とを用いて、人間1の脚体2、2の運動状態が単脚支持状態（図1（a）の状態）であるか、両脚支持状態（図1（b）の状態）であるかを判断する脚体運動判断手段25を備えてもよい。あるいは、脚体の接地部分のフット・スイッチ24あるいは図示しない距離センサを備えて、フット・スイッチ24あるいは図示しない距離センサからの情報に基づいて脚体の接地状態を判断するようにしてもよい。また、演算処理装置16は、胸部水平加速度センサ15及び胸部ジャイロセンサ14の検出データを用いて、胸部4の絶対座標系Cfにおける傾斜角度 $\theta a$ （具体的には例えば鉛直方向に対する傾斜角度 $\theta a$ 。図2参照）を計測する胸部傾斜角度計測手段26と、腰部水平加速度センサ20及び腰部ジャイロセンサ19の検出データを用いて、腰部3の絶対座標系Cfにおける傾斜角度 $\theta b$ （具体的には例えば鉛直方向に対する傾斜角度 $\theta b$ 。図2参照）を計測する腰部傾斜角度計測手段27とを備えている。

## 【0061】

さらに、演算処理装置16は、腰部水平加速度センサ20及び腰部鉛直加速度センサ21の検出データと前記腰部傾斜角度計測手段27により計測された腰部3の傾斜角度 $\theta b$ のデータとを用いて、本実施形態における人間1の基準点として図2に示すように腰部3に設定される身体座標系Cp（図2のxz座標）の原点Oの絶対座標系Cfにおける加速度（並進加速度）の鉛直方向成分 $a_z$ を求める基準加速度計測手段28を備えている。ここで、身体座標系Cpは、より詳しくは、例えば人間1の左右の股関節8、8のそれぞれの中心を結ぶ線の中点を原点Oとし、鉛直方向をz軸方向、人間1の前方に向かう水平方向をx軸方向とした座標系（3軸の方向が前記絶対座標系Cfと同一の座標系）である。

## 【0062】

また、演算処理装置16は、各脚体2の股関節角度センサ22及び膝関節角度センサ23の検出データと、前記腰部傾斜角度計測手段27による腰部3の傾斜角度 $\theta b$ のデータとを用いて、絶対座標系Cfにおける各脚体2の大腿部9及び下腿部11のそれぞれの傾斜角度 $\theta c$ 、 $\theta d$ （具体的には例えば鉛直方向に対する傾斜角度 $\theta c$ 、 $\theta d$ 。図2参照）を求める脚体姿勢算出手段32を備えている。

## 【0063】

また、演算処理装置16は、前記胸部傾斜角度計測手段26、腰部傾斜角度計測手段27及び脚体姿勢算出手段32により得られる胸部4の傾斜角度 $\theta a$ 、腰部3の傾斜角度 $\theta b$ 、並びに各脚体2の大腿部9の傾斜角度 $\theta c$ 及び下腿部11の傾斜角度 $\theta d$ のデータを用いて、後述の剛体リンクモデルに対応する人間1の各剛体相当部の重心の位置（詳しくは前記身体座標系Cpにおける各剛体相当部の重心の位置）を求める各部重心位置算出手段31を備えている。

## 【0064】

各部重心位置算出手段31と脚体姿勢算出手段32とは、身体幾何学モデル30を構成する。

## 【0065】

さらに、演算処理装置16は、各剛体相当部の重心の位置のデータを用いて、上記身体座標系Cpにおける人間1の全体の重心の位置を求める身体重心位置算出手段41を備えている。また、前記身体重心位置算出手段41による身体重心の位置のデータと前記基準加速度計測手段28による身体座標系Cpの原点Oにおける加速度の鉛直方向成分 $a_z$ のデータとを用いて絶対座標系Cfにおける身体重心G0の加速度の鉛直方向成分 $a_z$ （図1参照）を求める身体重心加速度算出手段42とを備えている。

## 【0066】

身体重心位置算出手段41と身体重心加速度算出手段42とは、身体質量分布モデル40を構成する。

## 【0067】

さらに、演算処理装置16は、前記脚体姿勢算出手段32により求められる大腿部9の傾斜角度 $\theta_c$ および下腿部11の傾斜角度 $\theta_d$ および身体重心位置算出手段41により求められる全体の重心の位置を用いて、接地している各脚体2の床反力作用点の位置を推定する床反力作用点推定手段50を備えている。後で詳細に述べるが、床反力作用点の位置を推定する場合にフット・スイッチ24あるいは図示しない距離センサからの情報を使用することもできる。

## 【0068】

また、演算処理装置16は、各脚体2に作用する床反力の推定値を求める床反力推定手段60を備えている。床反力推定手段60は、身体重心位置算出手段41により求めた重心G0（図1参照。以下、身体重心G0という）の位置のデータと前記脚体姿勢算出手段32による各脚体2の大腿部9及び下腿部11のそれぞれの傾斜角度 $\theta_c$ 、 $\theta_d$ のデータとを用いて本実施形態における各脚体2の特定部位としての各脚体2の足首部12の身体重心G0に対する位置（詳しくは、前記式（5）における $\Delta X_f$ 、 $\Delta Z_f$ 、 $\Delta X_r$ 、 $\Delta Z_r$ ）を求める。さらに、床反力推定手段60は、当該位置のデータと前記身体重心加速度算出手段42による身体重心の加速度の鉛直方向成分 $a_z$ データと前記フット・スイッチ24もしくは図示しない距離センサまたは前記脚体運動判断手段25による脚体2の運動状態の判断結果のデータとを用いて各脚体2に作用する床反力の鉛直方向成分の推定値を求める。

## 【0069】

さらに、演算処理装置16は、床反力推定手段60による推定値のデータと床反力作用点推定手段50による床反力作用点の推定位置のデータと前記脚体姿勢算出手段32による各脚体2の大腿部9及び下腿部11のそれぞれの傾斜角度 $\theta_c$ 、 $\theta_d$ のデータとを用いて各脚体2の膝関節10及び股関節8にそれぞれ作用するモーメントを推定する関節モーメント推定手段71を備えている。

## 【0070】

また、演算処理装置16は、関節モーメント推定手段71により求めたモーメントの推定値に所定の係数を乗じて人間をアシストするためのアシストトルクすなわち重力補償トルクを求める重力補償トルク算出手段72を備えている。

## 【0071】

関節モーメント推定手段71と重力補償トルク算出手段72は、重力補償モデル70を構成する。

## 【0072】

次に、上述の演算処理装置16の各手段のより詳細な処理内容と併せて、本実施形態の作動を説明する。

## 【0073】

本実施形態では、例えば人間1が歩行等の脚体2の運動を行うに際して、両脚体2、2を着床させた状態で演算処理装置16の図示しない電源スイッチを投入すると、該演算処理装置16による処理が所定のサイクルタイム毎に以下に説明するように逐次実行され、各脚体2に作用する床反力の推定値等が逐次求められる。

## 【0074】

すなわち、まず、演算処理装置16は、前記脚体運動判断手段25の処理を実行する。この脚体運動判断手段25の処理では、前記サイクルタイム毎に、前記腰部鉛直加速度センサ21による腰部3の鉛直方向上向き加速度の検出データがあらかじめ定めた所定の閾値と比較される。そして、該加速度の検出値がその閾値を超えている場合に、前記図1（a）に示したような、前側の足を立脚とする単脚支持状態であると判断する。また、該加速度の検出値がその閾値以下である場合に、前記図1（b）に示したような両脚支持状態であると判断する。

## 【0075】

あるいは、サイクルタイムごとに脚体の接地部分に備えられたフット・スイッチ24あ



るいは図示しない距離センサの出力値を読み込んで脚体の接地状態を判断するようにしてもよい。

#### 【0076】

上述のようなフット・スイッチ24もしくは図示しない距離センサまたは脚体運動判断手段25の処理と並行して、演算処理装置16は、前記胸部傾斜角度計測手段26及び腰部傾斜角度計測手段27による処理を実行する。この場合、胸部傾斜角度計測手段26の処理では、胸部水平加速度センサ15及び胸部ジャイロセンサ14からそれぞれ入力される胸部4の水平方向の加速度、胸部4の角速度の検出データから、所謂カルマンフィルタの処理を用いた公知の手法により、絶対座標系Cfにおける胸部4の傾斜角度 $\theta a$ が前記  
10 サイクルタイム毎に逐次求められる。同様に、腰部傾斜角度計測手段27の処理では、腰部水平加速度センサ20及び腰部ジャイロセンサ19からそれぞれ入力される腰部3の水平方向の加速度、腰部3の角速度の検出データから、カルマンフィルタの処理を用いて絶対座標系Cfにおける腰部3の傾斜角度 $\theta b$ が逐次求められる。ここで、絶対座標系Cfにおける胸部4及び腰部3のそれぞれの傾斜角度 $\theta a$ 、 $\theta b$ は、本実施形態では例えば鉛直方向（重力方向）に対する傾斜角度である。

#### 【0077】

尚、例えばジャイロセンサ14、19による角速度の検出データを積分することで、胸部4や腰部3の傾斜角度を求めることも可能であるが、本実施形態のようにカルマンフィルタの処理を用いることで、胸部4や腰部3の傾斜角度 $\theta a$ 、 $\theta b$ を精度よく計測することが  
20 できる。

#### 【0078】

次に、演算処理装置16は、前記脚体姿勢算出手段32の処理と前記基準加速度計測手段28の処理とを実行する。

#### 【0079】

前記脚体姿勢算出手段32による処理では、絶対座標系Cfにおける各脚体2の大腿部9及び下腿部11の傾斜角度 $\theta c$ 、 $\theta d$ （鉛直方向に対する傾斜角度。図2参照）が前記  
30 サイクルタイム毎に次のように求められる。すなわち、各脚体2の大腿部9の傾斜角度 $\theta c$ は、その脚体2に装着されている前記股関節角度センサ22による股関節8の屈曲角度 $\Delta \theta c$ の検出データの今回値と、前記腰部傾斜角度計測手段27により求められた腰部3の傾斜角度 $\theta b$ の今回値とから次式（6）により算出される。

$$\theta c = \theta b + \Delta \theta c \quad \cdots (6)$$

#### 【0080】

ここで、腰部3の傾斜角度 $\theta b$ は、該腰部3の上端部が下端部よりも人間1の前方側に突き出るように該腰部3が鉛直方向に対して傾斜している場合に負の値となるものであり、股関節8の屈曲角度 $\Delta \theta c$ は、大腿部9の下端部が人間1の前方側に突き出るように大腿部9が腰部3の軸心に対して傾斜している場合に正の値となるものである。

#### 【0081】

さらに、各脚体2の下腿部11の傾斜角度 $\theta d$ は、上記のように求められた大腿部9の傾斜角度 $\theta c$ の今回値と、該脚体2に装着されている前記膝関節角度センサ23による膝関節10の屈曲角度 $\Delta \theta d$ の検出データの今回値とから次式（7）により算出される。  
40

$$\theta d = \theta c - \Delta \theta d \quad \cdots (7)$$

#### 【0082】

ここで、膝関節10の屈曲角度は、下腿部11が大腿部9の軸心に対して該大腿部9の背面側に傾斜している場合に正の値となるものである。

#### 【0083】

また、前記基準加速度計測手段28の処理では、前記身体座標系Cpの原点Oの絶対座標系Cfにおける加速度の鉛直方向成分 $a_z$ が次のように求められる。すなわち、前記腰部鉛直加速度センサ21による腰部3の鉛直（上下）方向の加速度の検出データの今回値を $a_q$ とすると、検出データ $a_q$ と、前記腰部傾斜角度計測手段27により求められた腰部3の傾斜角度 $\theta b$ の今回値とから、次式（8）により絶対座標系Cfにおける加速度の  
50

鉛直方向成分  $a_z$  が求められる。

$$a_z = a \cdot \cos \theta - g \quad \dots (8)$$

【0084】

次に、演算処理装置 16 は、前記各部重心位置算出手段 31 の処理を実行し、以下に説明する剛体リンクモデルを用いて、前記身体座標系  $C_p$  における人間 1 の各剛体相当部の重心の位置（身体座標系  $C_p$  の原点に対する位置）を求める。

【0085】

図 4 に示すように、本実施形態で用いる剛体リンクモデル R は、人間 1 を、各脚体 2 の大腿部 9 に相当する剛体 R1、R1 と、下腿部 11 に相当する剛体 R2、R2 と、腰部 3 に相当する剛体 R3 と、前記胸部 4、腕体 7、7 及び頭部 6 を合わせた部分 38（以下、上体部 38 という）に相当する剛体 R4 とを連結してなるものとして表現するモデルである。この場合、各剛体 R1 と剛体 R3 との連結部、並びに、各剛体 R1 と剛体 R2 との連結部がそれぞれ股関節 8、膝関節 10 に相当する。また、剛体 R3 と剛体 R4 との連結部は腰部 3 に対する胸部 4 の傾動支点部 39 である。

【0086】

そして、本実施形態では、このような剛体リンクモデル R の各剛体 R1 乃至 R4 に対応する人間 1 の剛体相当部（各脚体 2 の大腿部 9 及び下腿部 11、腰部 3、上体部 38）のそれぞれの重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の各剛体相当部における位置があらかじめ求められ、演算処理装置 16 に接続された図示しないメモリに記憶されている。

【0087】

ここで、演算処理装置 16 に記憶保持している各剛体相当部の重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の位置は、各剛体相当部に対して固定した座標系での位置である。この場合、各剛体相当部の重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の位置を表すデータとして、例えば、各剛体相当部の一端部の関節の中心点から該剛体相当部の軸心方向の距離が用いられる。具体的には、例えば図 4 に示すように、各大腿部 9 の重心  $G1$  の位置は、該大腿部 9 の股関節 8 の中心から大腿部 9 の軸心方向に距離  $t1$  の位置、各下腿部 11 の重心  $G2$  の位置は、該下腿部 11 の膝関節 10 の中心から下腿部 11 の軸心方向に距離  $t2$  の位置として表され、それらの距離  $t1$ 、 $t2$  の値があらかじめ求められて演算処理装置 16 に記憶保持されている。他の剛体相当部の重心、 $G3$ 、 $G4$  の位置についても同様である。

【0088】

尚、上体部 38 の重心  $G4$  の位置は、厳密には、該上体部 38 に含まれる腕体 7、7 の動きの影響を受けるが、歩行時における各腕体 7、7 は、一般に胸部 4 の軸心に対して対称的な位置関係になるので、上体部 38 の重心  $G4$  の位置はさほど変動せず、例えば直立姿勢状態における上体部 38 の重心  $G4$  の位置とほぼ同一となる。

【0089】

また、本実施形態では、各剛体相当部（各脚体 2 の大腿部 9 及び下腿部 11、腰部 3、上体部 38）の重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の位置を表すデータの他、各剛体相当部の重量のデータや、各剛体相当部のサイズのデータ（例えば各剛体相当部の長さのデータ）があらかじめ求められて、演算処理装置 16 に記憶保持されている。

【0090】

尚、下腿部 11 の重量は、足平部 13 を含めた重量である。また、上述のように演算処理装置 16 にあらかじめ記憶保持したデータは、実測等により求めておいてもよいが、人間 1 の身長や体重から、人間の平均的な統計データに基づいて推測するようにしてもよい。一般に、上記各剛体相当部の重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の位置や、重量、サイズは、人間の身長や体重と相関性があり、その相関関係に基づいて、人間の身長及び体重のデータから、上記各剛体相当部の重心  $G1$ 、 $G2$ 、 $G3$ 、 $G4$  の位置や重量、サイズを比較的精度よく推測することが可能である。

【0091】

前記各部重心位置算出手段 31 は、上述のように演算処理装置 16 にあらかじめ記憶保持したデータと、前記胸部傾斜角度計測手段 26 及び腰部傾斜角度計測手段 27 によりそ

10

20

30

40

50

れぞれ求められた胸部4の傾斜角度 $\theta a$  (=上部38の傾斜角度)及び腰部3の傾斜角度 $\theta b$ の今回値と、前記脚体姿勢算出手段32により求められた各脚体2の大腿部9及び下腿部11のそれぞれの傾斜角度 $\theta c$ ,  $\theta d$ の今回値とから、腰部3に固定された原点Oを有する身体座標系Cp (図4のxz座標)での各剛体相当部の重心G1, G2, G3, G4の位置を求める。

【0092】

この場合、各剛体相当部 (各脚体2の大腿部9及び下腿部11、腰部3、上部38)の傾斜角度 $\theta a$ 乃至 $\theta d$ が上述のように求められているので、その傾斜角度 $\theta a$ 乃至 $\theta d$ のデータと、各剛体相当部のサイズのデータとから身体座標系Cpにおける各剛体相当部の位置及び姿勢が判る。従って、身体座標系Cpにおける各剛体相当部の重心G1, G2, G3, G4の位置が求められることとなる。

【0093】

具体的には、例えば図4を参照して、同図4の左側に位置する脚体2に関し、大腿部9の身体座標系Cpにおける傾斜角度 (z軸方向に対する傾斜角度)は $\theta c$  (この場合、図4では $\theta c < 0$ である)であるので、身体座標系Cpにおける大腿部9の重心G1の位置の座標は、( $t1 \cdot \sin \theta c$ ,  $-t1 \cdot \cos \theta c$ )となる。また、下腿部11の身体座標系Cpにおける傾斜角度は $\theta d$  (図4では $\theta d < 0$ )であるので、身体座標系Cpにおける下腿部11の重心G2の位置の座標は、大腿部9の長さを $Lc$ とすると、( $Lc \cdot \sin \theta c + t2 \cdot \sin \theta d$ ,  $-Lc \cdot \cos \theta c - t2 \cdot \cos \theta d$ )となる。他の脚体2の大腿部9及び下腿部11並びに、腰部3及び上部38の重心についても上記と同様に求められる。

【0094】

このようにして、各部重心位置算出手段31により、身体座標系Cpにおける各剛体相当部の重心G1, G2, G3, G4の位置を求めた後、演算処理装置16は、前記身体重心位置算出手段41の処理を実行し、各剛体相当部の重心G1, G2, G3, G4の位置のデータと、各剛体相当部の重量のデータとを用いて身体座標系Cpにおける人間1の身体重心G0の位置 ( $xg$ ,  $zg$ )を求める。

【0095】

ここで、身体座標系Cpにおける腰部3の重心G3の位置及び重量をそれぞれ ( $x3$ ,  $z3$ )、 $m3$ 、上部38の重心G4の位置及び重量をそれぞれ ( $x4$ ,  $z4$ )、 $m4$ 、人間1の前方に向かって左側の脚体2の大腿部9の重心G1の位置及び重量をそれぞれ ( $x1L$ ,  $z1L$ )、 $m1L$ 、同脚体2の下腿部11の重心G2の位置及び重量をそれぞれ ( $x2L$ ,  $z2L$ )、 $m2L$ 、右側の脚体2の大腿部9の重心G1の位置及び重量をそれぞれ ( $x1R$ ,  $z1R$ )、 $m1R$ 、同脚体2の下腿部11の重心G2の位置及び重量をそれぞれ ( $x2R$ ,  $z2R$ )、 $m2R$ 、人間1の体重を $M$  ( $=m1L+m2L+m1R+m2R+m3+m4$ )とすると、身体座標系Cpにおける人間1の身体重心G0の位置 ( $xg$ ,  $zg$ )は次式(9)により求められる。

$$\begin{aligned} xg &= (m1L \cdot x1L + m1R \cdot x1R + m2L \cdot x2L + m2R \cdot x2R \\ &\quad + m3 \cdot x3 + m4 \cdot x4) / M \\ zg &= (m1L \cdot z1L + m1R \cdot z1R + m2L \cdot z2L + m2R \cdot z2R \\ &\quad + m3 \cdot z3 + m4 \cdot z4) / M \end{aligned}$$

... (9)

【0096】

このようにして身体重心位置算出手段41の処理を実行した後、さらに、演算処理装置16は、前記身体重心加速度算出手段42の処理を実行する。

【0097】

この場合、身体重心加速度算出手段42の処理では、まず、前記サイクルタイム毎に身体重心位置算出手段41により求められる身体座標系Cpにおける身体重心G0の鉛直方向位置 $zg$ の時系列データを用いて、身体座標系Cpにおける身体重心G0の位置 $zg$ の2階微分値、すなわち、身体座標系Cpの原点Oに対する身体重心G0の加速度の鉛直方向成分 $d^2 zg / dt^2$ が求められる。そして、この加速度 $d^2 zg / dt^2$ と、前記基準加速度計

測手段 28 により求められた身体座標系  $C_p$  の原点  $O$  の絶対座標系  $C_f$  における加速度の鉛直方向成分  $a_z$  との和を求めることにより、絶対座標系  $C_f$  における身体重心  $G_0$  の加速度  $a_z$  の鉛直方向成分が求められる。

【0098】

次に、演算処理手段 16 は、前記床反力推定手段 60 の処理を次のように実行する。まず、前記脚体姿勢算出手段 32 により求められた各脚体 2 の大腿部 9 及び下腿部 11 のそれぞれの傾斜角度  $\theta_c$ 、 $\theta_d$  のデータの今回値と、前記腰部傾斜角度計測手段 27 により求められた腰部 3 の傾斜角度  $\theta_b$  のデータの今回値と、該大腿部 9 及び下腿部 11 のサイズ（長さ）のデータとから、前記各部重心位置算出手段 41 の処理と同様の処理によって、前記身体座標系  $C_p$  における各脚体 2 の足首部 12 の位置が求められる。具体的には、  
 図 4 を参照して、同図 4 の左側に位置する脚体 2 に関し、下腿部 11 の長さ（膝関節 10 の中心から足首部 12 までの長さ）を  $L_d$  とすると、身体座標系  $C_p$  における足首部 12 の位置の座標  $(x_{12}, z_{12})$  は、 $(L_c \cdot \sin \theta_c + L_d \cdot \sin \theta_d, -L_c \cdot \cos \theta_c - L_d \cdot \cos \theta_d)$  となる（但し、図 4 では  $\theta_c < 0$ 、 $\theta_d < 0$ ）。他方の脚体 2 についても同様である。

【0099】

そして、この足首部 12 の身体座標系  $C_p$  における位置  $(x_{12}, z_{12})$  と前記身体重心位置算出手段 41 により求められた身体座標系  $C_p$  における身体重心  $G_0$  の位置  $(x_g, z_g)$  のデータの今回値とから、身体重心  $G_0$  に対する各脚体 2 の足首部 12 の位置ベクトル<sup>T</sup>  $(x_{12} - x_g, z_{12} - z_g)$ 、すなわち、前記式 (5) における  $\Delta X_f$ 、 $\Delta Z_f$ 、 $\Delta X_r$ 、 $\Delta Z_r$  が求められる。

【0100】

すなわち、この処理では、前記脚体運動判断手段 25 またはフット・スイッチ 24 もしくは図示しない距離センサにより今回のサイクルタイムで判断された脚体 2 の運動状態が単脚支持状態である場合には、人間 1 の体重  $M$  及び重力加速度  $g$  の値（これらはあらかじめ演算処理装置 16 に記憶されている）と、前記身体重心加速度算出手段 42 により求められた絶対座標系  $C_f$  における身体重心  $G_0$  の加速度の鉛直方向成分  $a_z$  の今回値とから、前記式 (2) により、接地している脚体 2 に作用する床反力の鉛直方向成分  $F_z$  の推定値が求められる。

【0101】

尚、この場合、非接地側の脚体 2（遊脚側の脚体 2）に作用する床反力の鉛直方向成分  $F_z$  は、0 である。

【0102】

また、脚体運動判断手段 25 またはフット・スイッチ 24 もしくは図示しない距離センサにより今回のサイクルタイムで判断された脚体 2 の運動状態が両脚支持状態である場合には、人間 1 の体重  $M$  及び重力加速度  $g$  と、前記身体重心加速度算出手段 42 により求められた絶対座標系  $C_f$  における身体重心  $G_0$  の加速度の鉛直方向成分  $a_z$  の今回値と、各脚体 2 の足首部 12 の身体重心  $G_0$  に対する位置の今回値のデータ（式 (5) の  $\Delta X_f$ 、 $\Delta Z_f$ 、 $\Delta X_r$ 、 $\Delta Z_r$  のデータの今回値）から、前記式 (5) により、各脚体 2 毎の床反力の鉛直方向成分  $F_{fz}$ 、 $F_{rz}$  の推定値が求められる。

【0103】

一方、演算処理装置 16 は、上述のような身体重心位置算出手段 41、身体重心加速度算出手段 42、及び床反力推定手段 60 の処理と並行して、床反力作用点推定手段 50 の処理を実行する。

【0104】

床反力作用点推定手段 50 の処理では、脚体 2 の足首部 12 から、該脚体 2 の足平部 13 の床反力作用点（足平部 13 の接地箇所に作用する全床反力が集中するとみなせる点）へのベクトル（足首部 12 に対する床反力作用点の位置ベクトル。以下、床反力作用点ベクトルという）を該床反力作用点の位置を表すデータとして以下の手順により求める。

【0105】

ここで、図2に示すように足首部12を足関節12Aと表記し足平部13の先端の関節(いわゆるMP関節)を12Bと表記する。まず、足関節12Aの位置座標の水平方向成分 $x_{12}$ を求める。具体的には、図4を参照して、同図4の左側に位置する脚体2に関し、下腿部11の長さ(膝関節10の中心から足首部12までの長さ)を $L_d$ とすると、身体座標系 $C_p$ における足首部12の位置の座標( $x_{12}$ ,  $z_{12}$ )は、上述のように( $L_c \cdot \sin \theta_c + L_d \cdot \sin \theta_d$ ,  $-L_c \cdot \cos \theta_c - L_d \cdot \cos \theta_d$ )となる(但し、図4では $\theta_c < 0$ 、 $\theta_d < 0$ )。他方の脚体2についても同様である。また、足関節12AとMP関節12Bとの間の水平距離を定数 $D$ として以下の式によりMP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ を求める。

$$x_{12B} = x_{12} + D$$

10

【0106】

次に、動作モードの判定を行う。両脚接地時において、上記のようにして求めた、左右の足関節12Aの位置の差の鉛直方向成分が、所定の閾値を超えた場合には、階段あるいは坂道の歩行と判断する。それ以外の場合には、通常歩行と判断する。

【0107】

つぎに、通常歩行の場合に、上記のように求めた水平方向成分の大きさを比較して以下の手順により床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分を求める。 $G_0$ の水平方向成分 $x_g$ が、足関節12Aの位置座標の水平方向成分 $x_{12}$ よりも小さい場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、足関節12Aの位置座標の水平方向成分 $x_{12}$ であるとする。 $G_0$ の水平方向成分 $x_g$ が、足関節12Aの位置座標の水平方向成分 $x_{12}$ とMP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ との間にある場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、 $G_0$ の水平方向成分 $x_g$ であるとする。 $G_0$ の水平方向成分 $x_g$ が、MP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ よりも大きい場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、MP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ であるとする。

20

【0108】

階段あるいは坂道の歩行の場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、常にMP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ であるとする。

【0109】

床反力作用点ベクトルの鉛直方向成分は、足関節12Aと地面との間の距離を定数 $E$ として求める。

30

【0110】

上記の手順により、足関節12Aを始点とし、床反力の作用点を終点とする床反力作用点ベクトルを求めることができる。

【0111】

代替的に、床反力作用点推定手段50は、フット・スイッチ24あるいは距離センサの情報を使用して以下の手順により床反力作用点ベクトルを求めることもできる。この場合には、足関節12AおよびMP関節12Bの直下に取付けた接触式のフット・スイッチ24あるいは距離センサで踵およびつま先の接地判定を行う。両方のフット・スイッチ24あるいは距離センサが接地状態を示している場合には、上記の通常歩行の場合と同様の手順により、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分を求める。足関節12Aの直下に取付けたフット・スイッチ24あるいは距離センサのみが接触状態を示している場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、足関節12Aの位置座標の水平方向成分 $x_{12}$ であるとする。MP関節12Bの直下に取付けたフット・スイッチ24あるいは距離センサのみが接触状態を示している場合には、床反力作用点ベクトルの終点の水平方向成分は、MP関節12Bの位置座標の水平方向成分 $x_{12B}$ であるとする。

40

【0112】

床反力作用点ベクトルの鉛直方向成分は、足関節12Aと地面との間の距離を定数 $E$ として求める。

【0113】

50

上記の手順により、フット・スイッチ 24 あるいは距離センサの情報を使用して、足関節 12A を始点とし、床反力の作用点を終点とする床反力作用点ベクトルを求めることができる。

#### 【0114】

上記の如く床反力作用点の位置を推定した後、次に、演算処理装置 16 は、前記関節モーメント推定手段 71 の処理を実行して、各脚体 2 の膝関節 10 及び股関節 8 に作用するモーメントを求める。この処理は、前記床反力推定手段 60、床反力作用点推定手段 50、及び脚体姿勢算出手段 32 によりそれぞれ求められたデータの今回値を用いて、所謂逆動力学モデルに基づいて行われる。この逆動力学モデルは、人間 1 の各剛体相当部の並進運動に関する運動方程式と回転運動に関する運動方程式とを用いて、床反力作用点により近い関節から順番に該関節に作用するモーメントを求めるものであり、本実施形態では、各脚体 2 の膝関節 10、股関節 8 に作用するモーメントが順番に求められる。

#### 【0115】

さらに詳細には、図 5 を参照して、まず、各脚体 2 の下腿部 11 に関し、下腿部 11 の先端部の足首部 12 に作用する力（関節反力）、下腿部 11 の膝関節 10 の部分に作用する力（関節反力）、及び下腿部 11 の重心 G2 の並進加速度を、それぞれ絶対座標系 Cf における成分表記によって、 ${}^T(F_1x, F_1z)$ 、 ${}^T(F_2x, F_2z)$ 、 ${}^T(a_2x, a_2z)$  とし、該下腿部 11 の重量を  $m_2$  とする。このとき、下腿部 11 の重心 G2 の並進運動に関する運動方程式は、重力加速度の項以外の加速度項を無視すると、次式となる。

$${}^T(0, 0) = {}^T(F_1x - F_2x, F_1z - F_2z - m_2 \cdot g)$$

#### 【0116】

ゆえに、鉛直方向成分について運動方程式は、以下のとおりである。

$$F_2z = F_1z - m_2 \cdot g \quad \dots (10)$$

#### 【0117】

ここで、下腿部 11 の先端部の足首部 12 に作用する関節反力の鉛直方向成分  $F_1z$  は、近似的には、該下腿部 11 を有する脚体 2 について前記床反力推定手段 60 により求められる床反力の鉛直方向成分の推定値に等しい。より詳しくは、単脚支持状態において、該脚体 2 が接地しているときには、関節反力の鉛直方向成分  $F_1z$  は、前記式 (2) により求められる床反力の鉛直方向成分  $Fz$  であり、該脚体 2 が遊脚側の脚体であるときには、 $F_1z = 0$  である。また、両脚支持状態において、該脚体 2 が人間 1 の進行方向前方に向かって後側の脚体であるときには、関節反力の鉛直方向成分  $F_1z$  は、前記式 (5) の床反力の鉛直方向成分  $F_{rz}$  であり、該脚体 2 が前側の脚体であるときには、前記式 (5) の床反力 T の鉛直方向成分  $F_{fz}$  である。

#### 【0118】

従って、各脚体 2 の膝関節 10 に作用する関節反力の鉛直方向成分  $F_2z$  は、床反力推定手段 60 により求められる床反力の鉛直方向成分  $F_1z$  のデータと、下腿部 11 のあらかじめ求められた重量  $m_2$  のデータと、重力加速度  $g$  の値とから、上記式 (10) により求められる。

#### 【0119】

また、図 5 を参照して、下腿部 11 の先端部の足首部 12 に作用するモーメントを  $M_1$ 、下腿部 11 の股関節 10 の部分に作用するモーメントを  $M_2$ 、下腿部 11 の重心 G2 の回りの慣性モーメントを  $I_{G2}$ 、下腿部 11 の重心 G2 の回りの角加速度を  $\alpha_2$  とする。また、前記図 4 に対応させて、下腿部 11 の重心 G2 と膝関節 10 の中心との間の距離を  $t_2$ 、下腿部 11 の重心 G2 と足首部 12 との間の距離を  $t_2'$  ( $= Ld - t_2$ ) とすると、下腿部 11 の重心 G2 の回りの回転運動に関する運動方程式は、水平方向の力の項および角加速度項を除去すると、次式 (11) となる。

#### 【0120】

$$I_{G2} \cdot \alpha_2 = 0 = M_1 - M_2 - F_1z \cdot t_2' \cdot \sin \theta d - F_2z \cdot t_2 \cdot \sin \theta d$$

ゆえに

$$M_2 = M_1 - F_1z \cdot t_2' \cdot \sin \theta d - F_2z \cdot t_2 \cdot \sin \theta d$$



．．． (11)

### 【0121】

ここで、式 (11) 中の  $M_1$  は、同式 (11) に係わる下腿部 11 を有する脚体 2 について前記床反力作用点推定手段 50 により求められる床反力作用点ベクトルと、該脚体 2 について前記床反力推定手段 60 により求められる床反力ベクトルとの外積（ベクトル積）として得られるモーメントである。また、角加速度項を除去するので  $\alpha_2$  はゼロとされる。また、 $\theta d$  は前記脚体姿勢算出手段 32 により求められる下腿部 11 の傾斜角度である。また、 $F_1 z$  は、前述の通り、床反力推定手段 60 により求められる床反力の鉛直方向成分の推定値である。さらに、 $F_2 z$  は、前記式 (10) により求められるものである。

10

### 【0122】

従って、膝関節 10 に作用するモーメント  $M_2$  は、床反力推定手段 60 による床反力の鉛直方向成分の推定値のデータと、床反力作用点推定手段 50 による床反力作用点ベクトルのデータと、脚体姿勢算出手段 32 による下腿部 11 の傾斜角度  $\theta d$  のデータと、前記式 (10) により求められた関節反力の鉛直方向成分  $F_2 z$  のデータと、あらかじめ求めた下腿部 11 のサイズ ( $L d$ )、重心  $G 2$  の位置 ( $t_2$ ) のデータとから前記式 (11) により求められる。

### 【0123】

関節モーメント推定手段 71 は、上記のようにして下腿部 11 の膝関節 10 の部分に作用するモーメント  $M_2$  を求めた後、その算出処理と同様の処理によって、大腿部 9 の股関節 8 の部分に作用するモーメントを求める。この処理の基本的な考え方は、膝関節 10 のモーメント  $M_2$  を求める手法と同一であるので、詳細な図示及び説明は省略するが、その概要は次の通りである。

20

### 【0124】

すなわち、まず、大腿部 9 の重心  $G 1$  (図 4 参照) の並進運動に関する運動方程式に基づく次式 (12) (前記式 (10) と同じ形の式) により、大腿部 9 の股関節 8 の部分に作用する関節反力の鉛直方向成分  $F_3 z$  が求められる。

$$F_3 z = F_2 z - m_1 \cdot g \quad \dots (12)$$

### 【0125】

ここで、 $F_2 z$  は、先に前記式 (10) により求めた膝関節 10 の関節反力の鉛直方向成分である。また、 $m_1$  はあらかじめ求めた大腿部 9 の重量、 $g$  は重力加速度である。

30

### 【0126】

次いで、大腿部 9 の重心  $G 1$  の回りの回転運動に関する運動方程式に基づく次式 (13) (前記式 (11) と同じ形の式) により、大腿部 9 の股関節 8 の部分に作用するモーメント  $M_3$  が求められる。

$$M_3 = M_2 - F_2 z \cdot t_1' \cdot \sin \theta c - F_3 z \cdot t_1 \cdot \sin \theta c \quad \dots (13)$$

### 【0127】

ここで、 $M_2$  は、前記式 (11) により求められた膝関節 10 のモーメント、 $F_2 z$  は、前記式 (10) により求められた膝関節 10 の関節反力の鉛直方向成分、 $F_3 z$  は、前記式 (12) により求められた股関節 8 の関節反力の鉛直方向成分、 $\theta c$  は前記脚体姿勢算出手段 32 により求められる大腿部 9 の傾斜角度である。また、 $t_1$  は、股関節 8 の中心から大腿部 9 の重心  $G 1$  までの距離 (図 4 参照)、 $t_1'$  は、膝関節 10 の中心から大腿部 9 の重心  $G 1$  までの距離 (図 4 では  $L c - t_1$ ) であり、これは、あらかじめ求めた重心  $G 1$  の位置や大腿部 9 のサイズ (長さ) から定まるものである。

40

### 【0128】

次に、重力補償トルク算出手段 72 において、関節モーメント推定手段 71 において求められた膝関節モーメントおよび股関節モーメントに所定の係数が乗じられ、重力補償トルクが算出される。当該係数は、人間 1 の動作を補助する動作アシスト装置 (膝関節 10 や股関節 8 に補助トルクを付与可能な電動モータ等を含む装置) において、関節モーメン

50

トの所定の割合を補償することを目的として定数(アシスト比率という)で与えられる。このようにして求めた重力補償トルクは、上記の動作アシスト装置の制御に用いられる。

#### 【0129】

以上説明した処理が、前記演算処理装置16のサイクルタイム毎に逐次実行され、各脚体2に作用する床反力、各脚体2の膝関節10及び股関節8に作用するモーメントおよび膝関節および股関節における重力補償トルクが逐次リアルタイムで推定される。

#### 【0130】

上記の本発明の一実施形態の作動を図14の流れ図にまとめる。図14のステップS1410において、脚体運動判断手段25により脚体の接地状態を判断する。なお、脚体運動判断手段25に代わりフット・スイッチ24あるいは距離センサの情報を使用してもよい。10  
ステップS1420において、脚体姿勢算出手段32により脚体の姿勢を求める。ステップS1430において、身体重心位置算出手段41により身体重心位置を求める。ステップS1440において、身体重心加速度算出手段42により身体重心加速度を求める。ステップS1450において、床反力推定手段60により床反力の鉛直方向成分を求める。ステップS1460において、床反力作用点推定手段50により床反力の作用点を求める。ステップS1470において、関節モーメント推定手段71により関節に作用するモーメントを求める。ステップS1480において、重力補償トルク算出手段72により関節に作用させるトルクを求める。

#### 【0131】

前述した演算処理装置16の処理により求められた関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を図6乃至図13に△で示す。さらに、図6乃至図13において、関節に作用するモーメントを求めるステップにおいて、加速度項および水平方向の力の項を含めて演算を行い、フィルタリングを行った場合の様子を◇で示し、フィルタリングを行わなかった場合の様子を□で示す。図6および図7は、階段登り時における股関節および膝関節に作用するモーメントを示す。図8および図9は、階段下り時における股関節および膝関節に作用するモーメントを示す。図10および図11は、椅子座り時における股関節および膝関節に作用するモーメントを示す。図12および図13は、椅子立ち時における股関節および膝関節に作用するモーメントを示す。20

#### 【0132】

図6乃至13を参照すると、本発明によれば、関節に作用するモーメントを求めるステップにおいて、加速度項および水平方向の力の項を除去して演算しているにもかかわらず、関節に作用するモーメントの推定値の推移は、加速度項および水平方向の力の項を含めて演算を行った場合の推定値の推移と同様である。特に、椅子座り時および椅子立ち時の推定値の推移は、加速度項および水平方向の力の項を含めて演算を行った場合の推定値の推移ときわめて近似している。30

#### 【産業上の利用可能性】

#### 【0133】

以上のように、本実施形態によれば、脚体2に人間1の歩行の邪魔となったり、脚体2の運動に負担がかかるようなセンサを装着したりすることなく、股関節8や膝関節10にそれぞれ装着した角度センサ22、23や、胴体5に装備したジャイロセンサ14、19及び加速度センサ15、20、21というような比較的小型で軽量のセンサを用いて各脚体2に作用する床反力や、各脚体2の股関節8及び膝関節10に作用するモーメントをリアルタイムで容易に推定することができる。さらに、関節に作用するモーメントを求めるステップにおいて、加速度項および水平方向の力の項を除去して演算するので、加速度項の演算により生じるノイズを排除することができ、加速度項の演算を省略することによりリアルタイム性を向上することができる。特に、椅子座り時および椅子立ち時には、精度よく推定を行うことができる。40

#### 【0134】

尚、以上説明した実施形態では、本発明を人間1に適用した場合を例にとって説明したが、二足歩行移動体としての二足歩行ロボットにも本発明を適用することができる。ここで、二足歩行ロボットでは、腰部と胸部とが一体的な構造となっている場合があるが、こ50



の場合には、ジャイロセンサや水平方向の加速度センサを腰部及び胸部のいずれか一方だけに取付けて、床反力や脚体の関節のモーメントを本実施形態と同様に推定するようにすることも可能である。また、二足歩行ロボットでは、股関節や膝関節の屈曲角度は、それらの関節のアクチュエータに対する制御装置の制御量により把握するようにすることも可能である。

#### 【0135】

また、前記実施形態では、脚体2の運動状態を判断するために、腰部鉛直加速度センサ21の検出データをそのまま用いたが、該検出データの代わりに、例えば前記基準加速度計測手段28により求められる絶対座標系Cfでの腰部3の加速度a0の鉛直方向（Z軸方向）の成分の値を用いるようにしてもよい。

10

#### 【0136】

以上のように、本発明は、人間の階段昇降動作、座位・立位運動、スクワット動作、重い荷物を持つての上下運動、重力に対する動作を補助する動作アシスト装置の動作制御や、二足歩行ロボットの移動動作の制御を行う場合に、移動体の脚体に作用する関節モーメントを把握しさらに関節部分に与えるトルクを得るものとして有用である。

#### 【図面の簡単な説明】

#### 【0137】

【図1】本発明の床反力推定方法の基本的原理を説明するための図である。

【図2】本発明の一実施形態における二足歩行移動体としての人間と該人間に装備する装置構成を模式化して示す図である。

20

【図3】図2の装置に備える演算処理装置の機能を説明するためのブロック図である。

【図4】図3の演算処理装置の処理に用いる剛体リンクモデルを示す図である。

【図5】図3の演算処理装置の関節モーメント推定手段における処理を説明するための図である。

【図6】本発明の実施形態により求められた階段登り時に股関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図7】本発明の実施形態により求められた階段登り時に膝関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図8】本発明の実施形態により求められた階段下り時に股関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

30

【図9】本発明の実施形態により求められた階段下り時に膝関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図10】本発明の実施形態により求められた椅子座り時に股関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図11】本発明の実施形態により求められた椅子座り時に膝関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図12】本発明の実施形態により求められた椅子立ち時に股関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

【図13】本発明の実施形態により求められた椅子立ち時に膝関節に作用するモーメントの推定値の経時変化の様子を例示するグラフである。

40

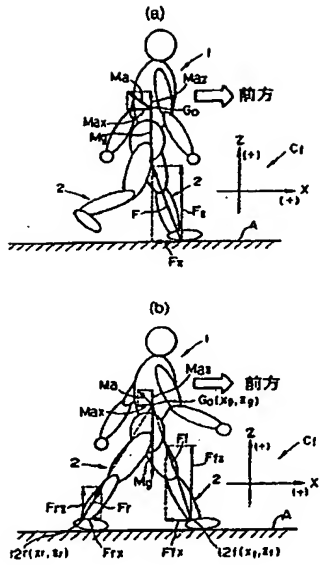
【図14】本発明の一実施形態の作動を示す流れ図である。

#### 【符号の説明】

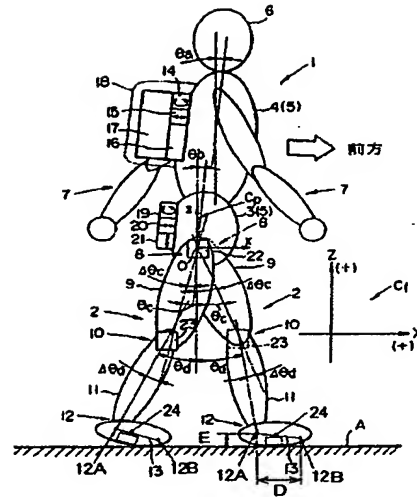
#### 【0138】

- 32 脚体姿勢算出手段
- 41 身体重心位置算出手段
- 50 床反力作用点推定手段
- 60 床反力推定手段
- 71 関節モーメント推定手段
- 72 重力補償トルク算出手段

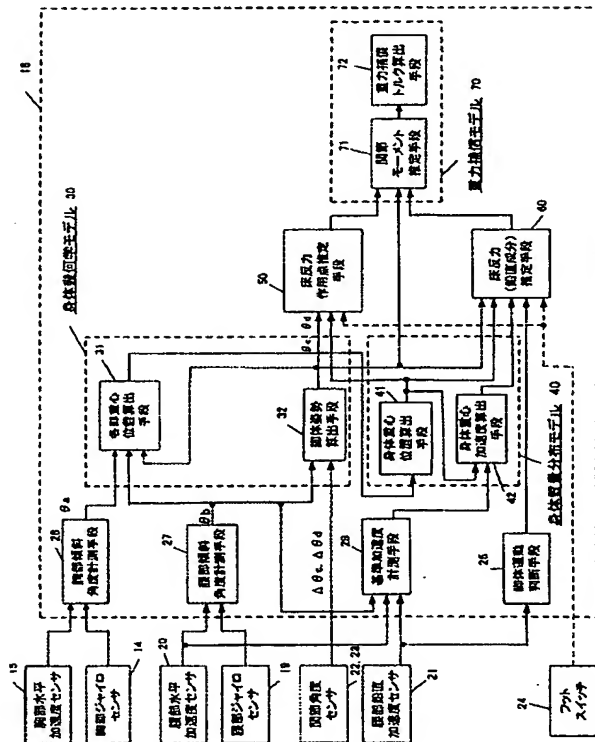
【図 1】



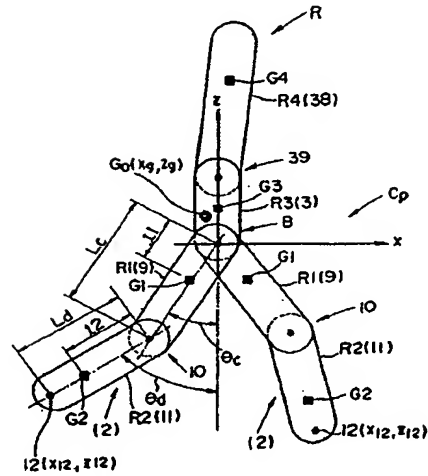
【図 2】



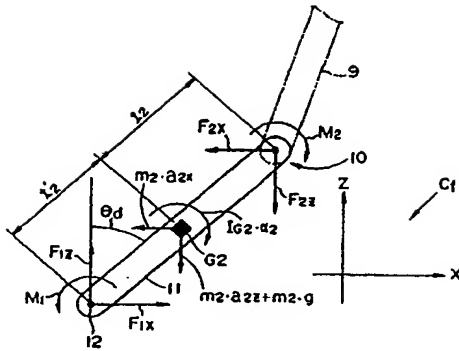
【図 3】



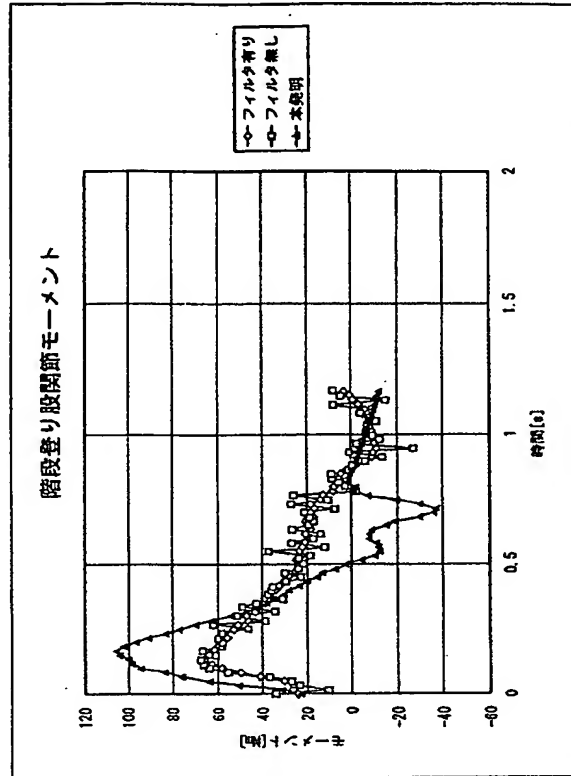
【図 4】



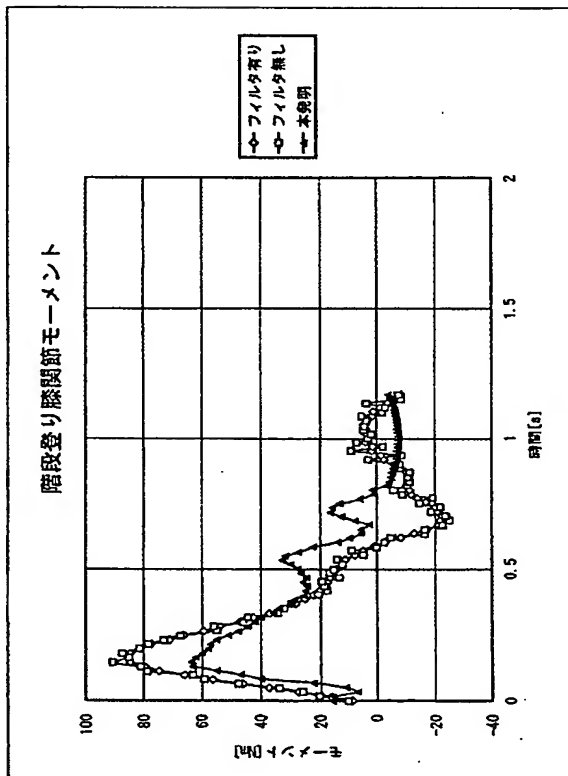
【図 5】



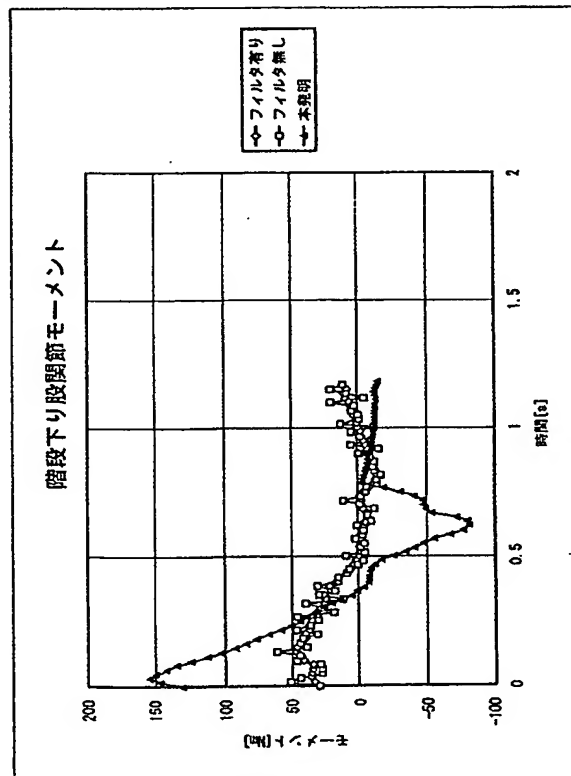
【図 6】



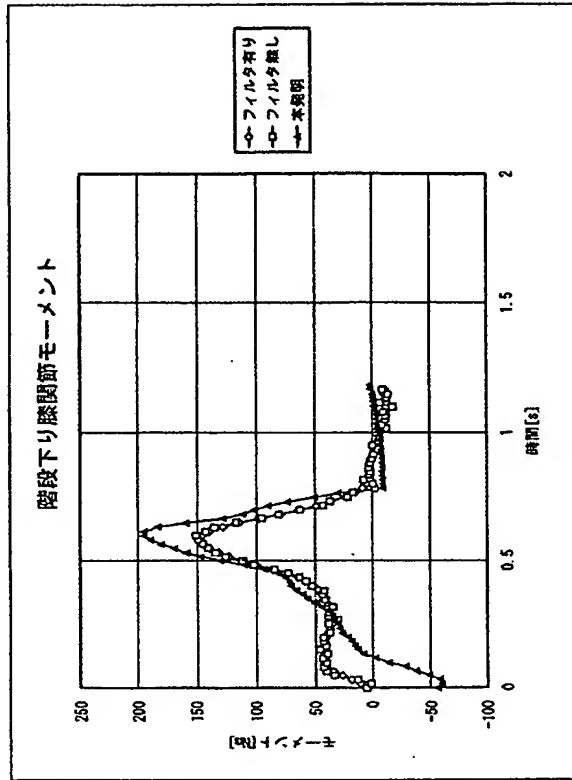
【図 7】



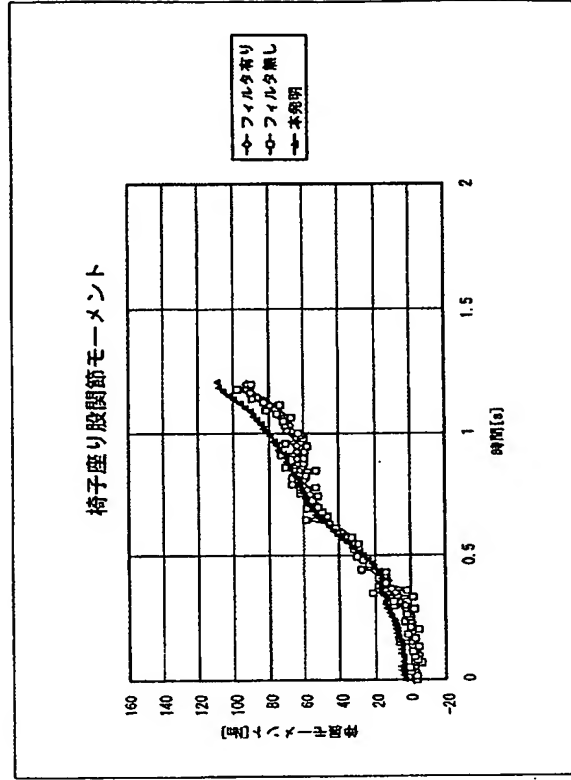
【図 8】



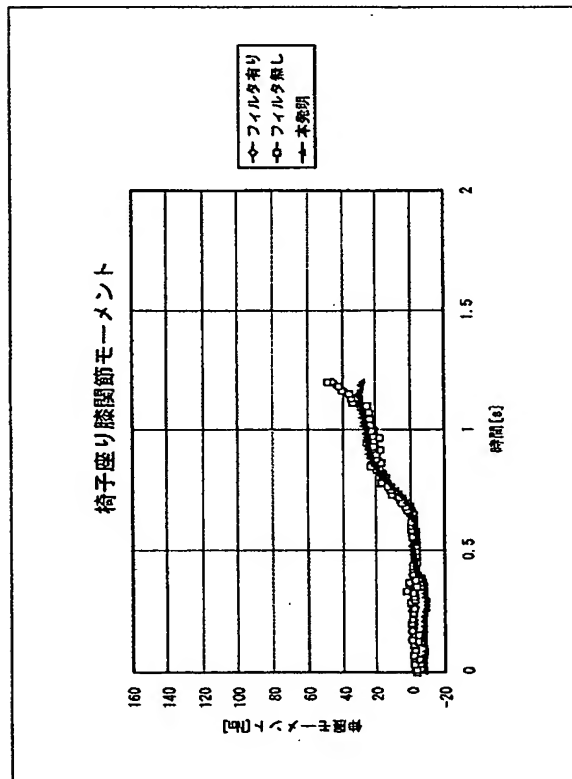
【図 9】



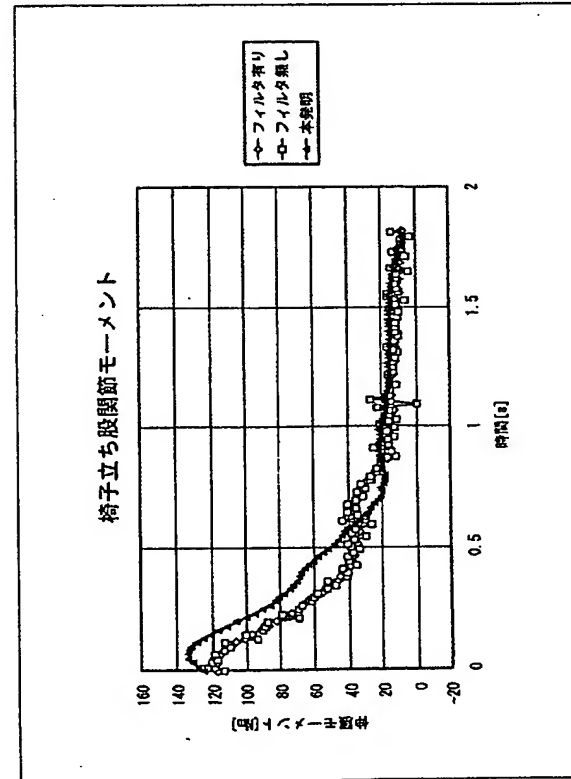
【図 10】



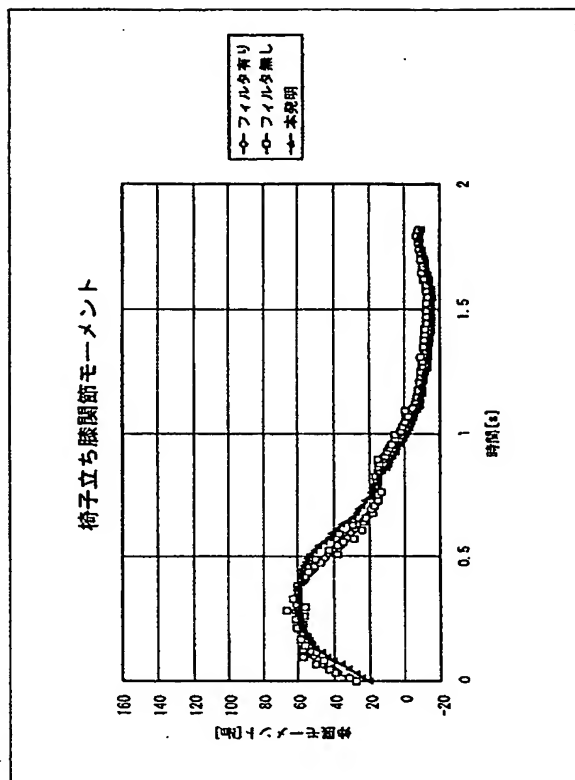
【図 11】



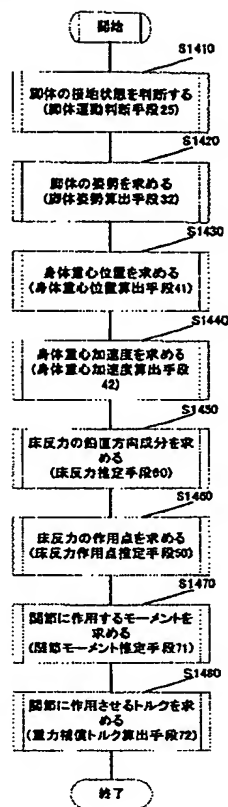
【図 12】



【図13】



【図14】



---

フロントページの続き

(72)発明者 ベザード・ダリウシュ

アメリカ合衆国 9 4 0 8 7 カリフォルニア州、サニーベイル、アイビス・テラス 4 6 6

Fターム(参考) 3C007 CS08 KS20 KS21 KS23 KS31 KS35 KV04 KV05 KX02 KX12

KX13 WA03 WA13 WB08